

Fritz Vahrenholt  
Sebastian Lüning

# Unerwünschte Wahrheiten

Was Sie über den  
Klimawandel wissen sollten

Mit 62 Abbildungen

**LANGENMÜLLER**



© 2020 Langen Müller Verlag GmbH, München

Alle Rechte vorbehalten

Umschlaggestaltung: Sabine Schröder

Umschlagillustration: Shutterstock, SJ Travel Photo and Video

Satz: VerlagsService Dietmar Schmitz GmbH, Heimstetten

Druck und Binden: Westermann Druck, Zwickau

Printed in Germany

ISBN: 978-3-7844-3553-4

---

# Inhalt

Statt eines Vorworts: Das Corona-Experiment 9

Einführung 13

50 Fragen zum Klimawandel 27

I. Moderne Erwärmung im Licht der Klimageschichte 27

1. Die moderne Erwärmung: Was wissen wir darüber? 27
2. Mittelalterliche Wärmeperiode und Kleine Eiszeit:  
Vernachlässigbare lokale Phänomene? 34
3. Noch nie war es so warm wie heute: Stimmt das? 47
4. Natürliche Klimaschwankungen im Millenniumstakt:  
Verborgener Klima-Herzschlag? 54
5. Die ganze Welt erwärmt sich. Die ganze Welt? 59
6. Läuft die moderne Erwärmung schneller ab als je zuvor? 64

II. Natürlicher und anthropogener Klimawandel 69

7. Der Herzschlag der Ozeane:  
Welche Rolle spielen PDO, AMO, NAO & Co.? 69
8. Welchen natürlichen Einfluss übt unsere Sonne auf das Erdklima aus? 79
9. Wann war der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre zuletzt so hoch wie heute? 101
10. Wie genau lässt sich die Erwärmungswirkung des CO<sub>2</sub> quantitativ  
heute eingrenzen? 109
11. Wie hoch ist der natürliche Anteil an der modernen  
Klimaerwärmung? 116
12. Wird der Golfstrom versiegen? 127

---

### III. Eis 133

---

- 13. Die Gebirgsgletscher schmelzen. Wie schlimm ist das? 133
- 14. Das Grönlandeis schrumpft. Wann hat es das zuletzt gegeben? 139
- 15. Wie stabil ist das Eis der Antarktis? 144
- 16. Gibt es heute weniger Schnee als früher? 151

### IV. Extremwetter 158

---

- 17. Ist das Klima heute wirklich extremer als früher? 158
- 18. Nehmen Überschwemmungskatastrophen immer weiter zu? 163
- 19. Gab es früher weniger Dürren? 167
- 20. Wie stark werden Waldbrände durch den Klimawandel angefeuert? 174
- 21. Unerträgliche Hitzewellen: Immer häufiger, immer heißer? 179
- 22. Führt die Klimaerwärmung wirklich zu mehr Kältewellen? 186
- 23. Bringt uns der Klimawandel mehr Stürme? 190
- 24. Welche Rolle spielen Vulkane beim Klimawandel? 196
- 25. Klimaflüchtlinge und Klimakriege: Wie viele und wo? 201

### V. Meeresspiegel 211

---

- 26. Wie stark steigt der Meeresspiegel? 211
- 27. War der Meeresspiegel in vorindustrieller Zeit stets stabil? 220

### VI. Klimamodelle und Vorhersagen 225

---

- 28. Können wir den Klimasimulationen aus dem Computer vertrauen? 225
- 29. Gibt es natürliche Klimamuster, die uns bei Prognosen helfen könnten? 230
- 30. Welche Anzeichen gibt es für Kippunkte? 235

### VII. Klimaschäden 243

---

- 31. Welche Auswirkungen hat der Klimawandel auf die Tierwelt? 243
- 32. Fortschreitende Ozeanversauerung: Wie gefährlich ist die Lage? 246
- 33. Stehen die Korallen vor dem Hitze-Aus? 249

- 
- 34. Hitzetote, Kältetote und Krankheiten: Welchen Einfluss hat der Klimawandel? 252
  - 35. Was ist von der arktischen Methan-Zeitbombe zu halten? 254
  - 36. Wird die Erde grüner? 257
  - 37. Gefährdet oder verbessert CO<sub>2</sub> unsere Ernährungsbasis? 261

#### VIII. Weltklimarat und Klimakonferenzen 267

---

- 38. Wer schreibt die IPCC-Klimazustandsberichte? 267
- 39. Warum beherrscht das unplausibelste Szenario die Klimadebatte? 268
- 40. Der ominöse 97%-Konsens: Gibt es ihn wirklich? 271
- 41. Ist das Pariser Klimaabkommen ein Muster ohne Wert? 276

#### IX. Energie für eine nachhaltige Zukunft 281

---

- 42. Welche Folgen haben Deutschlands Energiewende und der europäische Green Deal? 281
- 43. Wie grün ist die Windkraft? 286
- 44. Haben wir ausreichend Energiespeicher? 290
- 45. Gibt es ein Null-CO<sub>2</sub>-Kohlekraftwerk? 297
- 46. Steht Methan vor einer glänzenden Zukunft? 303
- 47. Eine neue Generation sicherer Kerntechnik: Eine neue Chance? 308
- 48. Wann wird die Kernfusion auf der Erde real? 314
- 49. Wie vernünftig ist die deutsche Energiewende im Verkehr? 319
- 50. Was ist von der Idee zu halten, eine Billion Bäume zu pflanzen? 325

### **Unerwünschte Wahrheiten und die Folgen 329**

# Statt eines Vorworts: Das Corona-Experiment

Die Forderungen von Greta Thunberg und »Fridays for Future« nach Einstellung der Förderung fossiler Energien wurden auf dem Weltwirtschaftsforum in Davos im Januar 2020 von den Führern aus Wirtschaft und Politik mit viel Beifall bedacht. Ihr Wunsch ging dank Corona früher in Erfüllung als gedacht. Ein weltweiter Shutdown wirtschaftlicher Aktivitäten führte zu dramatischen Rückgängen der Industrieproduktion, des Flugverkehrs und des Automobilverkehrs. Das Flaggschiff der Industriegesellschaften, Öl, war nichts mehr wert; der Ölpreis fiel auf null Dollar in den USA, zeitweise war er sogar negativ. Ein grüner Traum ging in Erfüllung.

Und doch sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen weltweit in den Monaten März bis Mai nur um 17 % zurückgegangen, wie eine internationale Forschergruppe von CO<sub>2</sub>-Experten um die kanadische Professorin Corinne Le Quere feststellte.<sup>1</sup> Wieso nur 17%? China kehrte nach vier Wochen zur Normalproduktion zurück.<sup>2</sup> Die dortige Kohleflotte wie auch die der anderen asiatischen Staaten produzierte sehr schnell wieder munter weiter. Die Shutdowns der 28 EU-Staaten betrafen nur 9 % der Weltmission an CO<sub>2</sub>, darunter Deutschland mit 2,3 %. Selbst die Wirtschaftsmacht USA ist nur für 15 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich.

Die erste Lektion des Corona-Experiments ist: Wenn nur die OECD-Staaten CO<sub>2</sub> reduzieren, die insgesamt für 34,7 % des weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes verantwortlich sind, bringt das global keine substanzielle Reduktion. Die OECD-Staaten sind aber nach dem Pariser Abkommen die einzigen, die dazu verpflichtet worden sind, CO<sub>2</sub> zu reduzieren. Was China, Indonesien oder Saudi-Arabien an CO<sub>2</sub>-Emissionsverminderung in den nächsten zehn Jah-

ren vornehmen, ist freiwillig. Und das ist weniger als nichts: In den nächsten Jahren darf der Exportweltmeister China nach dem Pariser Abkommen bis 2030 um etwa 50 % mehr CO<sub>2</sub> ausstoßen.

Noch viel bedeutsamer ist die zweite Lektion des Corona-Experiments. Selbst die massiven weltweiten Einschränkungen des Shutdowns hatten keinen messbaren Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Konzentration. Die Menschheit stößt zur Zeit 36,8 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> aus, das einem Atmosphärenwert von etwa 4,7 ppm CO<sub>2</sub> im Jahr entspricht. 55 % der CO<sub>2</sub>-Emission (also 2,6 ppm) nehmen die Pflanzen und die Ozeane auf. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft nimmt also um etwa 2,1 ppm pro Jahr zu. Die Corona-bedingten 17 % Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes sind in den Messungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration nicht erkennbar. Denn hinzukommt, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration jahreszeitlich um etwa 10 ppm schwankt. Sie steigt im Winter der Nordhemisphäre um etwa 10 ppm und sinkt im Sommer um 8 ppm, weil die Landmasse und die darauf wachsende Vegetation auf der Nordhalbkugel größer sind als auf der Südhalbkugel. Zudem nehmen die größeren Ozeanflächen des Südens im Winter (unserem Sommer) mehr CO<sub>2</sub> auf. Das Wachstum der CO<sub>2</sub>-Konzentration würde erst gestoppt, wenn die Reduktion des Ausstoßes 45 % betragen würde.

Das bringt uns eine schlechte und eine gute Nachricht. Das wirtschaftlich schon verheerende Corona-Experiment mit der Minderung von nur 17 % zeigt uns, wie schwierig es erst sein wird, eine Minderung von 45 % zu erreichen. Es ist offensichtlich, dass ein solches Ziel mit dem politisch in Mode gekommenen »Hau-Ruck«, »Raus aus« und »Weg mit« nur unter Inkaufnahme noch größerer wirtschaftlicher Verwerfungen erreichbar wäre. Eine intelligente weltweite Verminderung des CO<sub>2</sub> wird drei Generationen und nicht drei Legislaturperioden dauern.

Die gute Botschaft ist: Wir müssen auch langfristig nicht mehr als 50 % Minderung und keinesfalls die vom Weltklimarat für 2050 angestrebte Null-emission erreichen, um das CO<sub>2</sub> in der Luft zu reduzieren. Wenn wir nur noch 2,3 ppm pro Jahr ausstoßen, bleibt die Aufnahme von Pflanzen und Ozeanen mit 2,6 ppm gleich hoch. Denn deren CO<sub>2</sub>-Aufnahme richtet sich nicht nach der jährlichen Emission, sondern allein nach der Gesamtkonzentration an CO<sub>2</sub> in der Luft von 410 ppm, wovon etwa 280 ppm natürlichen Ursprungs sind und 130 ppm menschengemacht sind.<sup>3</sup>

Die dritte Lektion des Corona-Experiments ist hochpolitisch. Le Queres Forschungsteam ermittelte, dass das Experiment auf das Jahr 2020 hochgerechnet eine Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 4,2 % ergibt, wenn die Wirtschaft wieder in der zweiten Jahreshälfte hochgefahren wird. Dies gibt uns einen Vorgeschmack auf das, was uns erwartet, wenn es nach den Forderungen des Weltklimarates nach Halbierung der Emissionen bis 2035 geht. Diesen Vorstellungen wollen Deutschland und die EU im Alleingang folgen. Das würde Jahr für Jahr weitere minus 4,2 % und damit jedes Jahr nochmals einen *zusätzlichen* Einschnitt wie den des Corona-Jahres 2020 bedeuten!

Da ist es gut, wenn man weiß, dass die Szenarien des Weltklimarates nicht anders als höchst spekulativ zu bezeichnen sind. Um nur drei umstrittene Grundlagen der Katastrophenszenarien des Weltklimarates anzusprechen:

1. Die Verweilzeit eines Teils des CO<sub>2</sub> in der Luft wird in den Klimamodellen mit Tausenden von Jahren angegeben. Seit Jahrzehnten kann man die Halbwertszeit, mit der das CO<sub>2</sub> abgebaut wird, messen. Sie war vor 60 Jahren 38 Jahre und ist heute 35 Jahre;<sup>4</sup> die Halbwertszeit hat sich verkürzt. Warum sollte sich das in absehbarer Zeit ändern? Ursache hierfür ist, dass die Vegetation der Erde immer mehr CO<sub>2</sub> aufnimmt. Ein australisches Forschungsteam um Vanessa Harverd kam kürzlich zum Ergebnis, dass die Aufnahme des CO<sub>2</sub> durch Pflanzen wohl mehr als doppelt so hoch ist, wie es die Klimamodelle zugrunde legen.<sup>5</sup> Die Erde wird grüner.

2. Der Einfluss des CO<sub>2</sub> auf das Klima ist deutlich kleiner, als die Modelle suggerieren. Empirische Untersuchungen zeigen, dass die Temperaturerhöhung bei Verdoppelung des CO<sub>2</sub> nicht bei 3 °C oder gar 4,5 °C liegt, sondern eher unter 2 °C. Das bedeutet, selbst bei Erreichung einer Verdoppelung von CO<sub>2</sub> in der Luft von 560 ppm am Ende dieses Jahrhunderts wird die Temperatur nicht über 2 °C steigen. Reduzieren wir den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Verlaufe dieses Jahrhunderts, wird nicht einmal diese Grenze erreicht.

3. In den letzten 50 Jahren stieg die globale Temperatur besonders stark an. Dies ist eine Zeit, die geprägt ist von starken natürlichen warmen Meeresströmungen sowohl im Atlantik als auch im Pazifik, die allein eine Schwankung von bis zu 0,5 °C ausmachen. Zudem war diese Zeit geprägt von der größten solaren Aktivität der letzten 2000 Jahre. Beide Einflüsse kehren sich nunmehr um.



Das Corona-Experiment zeigt uns, dass Alleingänge, wie sie die deutsche und europäische grüne Politik plant, im Hinblick auf den CO<sub>2</sub>-Haushalt der Erde völlig wirkungslos sind. Das Ergebnis wäre, dass die Welt sich bis 2100 langsam auf eine CO<sub>2</sub>-arme Zukunft umstellt und die angeblichen »ökologischen Vorreiter«, die dieses Ziel bis 2035 erreichen wollen, ökonomisch abstürzen. Die Politik sollte sich stattdessen mit unerwünschten Wahrheiten beschäftigen. Das Mantra, dass CO<sub>2</sub> allein unser Klima prägt, wird in den nächsten Jahren zusammenbrechen. Die Klimakatastrophe wird nicht stattfinden. Wir haben ausreichend Zeit, nach technologischen Lösungen zu suchen, die fossilen Energieträger ohne Wohlstandsverlust und Naturzerstörung abzulösen.

# Einführung

*»Wenn die Tatsachen nicht mit der Theorie übereinstimmen –  
umso schlimmer für die Tatsachen«*

GEORG WILHELM FRIEDRICH HEGEL (1770–1831),  
deutscher Philosoph

*»Prognosen sind schwierig, besonders wenn sie die Zukunft betreffen«*

MARK TWAIN (1835–1910), amerikanischer Schriftsteller

Es gibt kaum ein Thema, das die Menschen mehr bewegt als die Entwicklung unseres Klimas, weil sie uns alle gleichermaßen betrifft. Das gilt spätestens dann, wenn Politik durch Gesetzgebung den menschlichen Einfluss auf das Klima zurückdrängen will. Das Tempo und das Ausmaß des Eingriffs in unser Wirtschaftssystem und unsere Lebensgewohnheiten hängen aber ab von der Tragweite wissenschaftlicher Erkenntnisse über Ursachen und zukünftige Entwicklungen des Klimas. Jeden Tag gibt es neue wissenschaftliche Erkenntnisse, jeden Tag gibt es neue Meldungen und Berichte in den Medien.

Ist das arktische Meereis in wenigen Jahren weggeschmolzen oder ist es seit einigen Jahren stabil? Nehmen die Starkregenereignisse zu oder sind sie seit 100 Jahren weltweit im Mittel gleich geblieben? Wie ist es mit Hurrikannen, Dürren? Welche Temperaturentwicklung ist aufgrund des menschlichen Einflusses in diesem Jahrhundert zu erwarten: ein, zwei oder viereinhalb Grad? Gibt es auch natürliche Veränderungen unseres Klimas, die wir noch nicht hinreichend verstehen? Trägt das steigende CO<sub>2</sub> wirklich zur Verbesserung der Nahrungsmittelversorgung in der Welt bei?

---

*Quellen für Zitate dieser Einführung sind in den einzelnen 50 Kapiteln aufgeführt.*

Die Informationslage für den interessierten Bürger wird undurchschaubarer, weil sowohl einige Wissenschaftler, Teile der Politik und die übergroße Mehrzahl der Medien dem Hang nicht widerstehen können, wissenschaftliche Sachverhalte so darzustellen, dass Angst und Verunsicherung die Menschen empfänglicher machen, jeden anderen Aspekt unserer hochentwickelten Gesellschaften dem Ziel des Klimaschutzes rigide unterzuordnen. Zudem ist die Klimawissenschaft eine interdisziplinäre, hochkomplexe Disziplin. Wer weiß schon etwas anzufangen mit Begriffen wie der CO<sub>2</sub>-Sensitivität des Klimasystems ECS oder der Atlantischen Multidekadischen Oszillation AMO? Wie wirkt CO<sub>2</sub>, wie wirkt die Sonne auf das Klimasystem, welche Verstärkungs- und Abschwächungseffekte gibt es, welche Rolle spielen Wolken, Ozeane oder die Photosynthese der Pflanzen?

Die Kompliziertheit erzeugt sehr häufig einfache Antworten, die die Menschen leichter erreichen. Etwa: 100 % der Temperaturänderung in den letzten Jahrzehnten sind menschengemacht. Oder: Dies ist die letzte Generation von Menschen auf dem Planeten Erde. Die Simplifizierung wird der Komplexität des Themas jedoch meist nicht gerecht. Viele Menschen wünschen sich daher eine leicht verständliche, trotzdem aber wissenschaftlich fundierte Darstellung der Sachverhalte. Wir werden in dieser Einführung in einem Überblick die wichtigsten Fragen und Sachverhalte zur Klimadebatte aus diesem Buch vorstellen, die wir dann in weiteren 50 Kapiteln vertiefen werden.

## Die Erwärmung

Die Erwärmung unserer Erde ist real, während der vergangenen 150 Jahre nahm die globale Durchschnittstemperatur um etwa 1,0 °C zu. Doch auch das vorindustrielle Temperaturniveau schwankte stark. Verfolgen wir die Klimageschichte zurück, so erfahren wir die stärkste Erwärmung seit der letzten großen Eiszeit im »Holozänen Thermischen Maximum« (HTM) vor etwa 8500–5500 Jahren. In dieser Zeit, auch »Atlantikum« genannt, wurde das moderne Wärmeniveau um bis zu 3 °C übertroffen. Diese besonders warme Phase endete etwa 3500 v. Chr. In den folgenden Jahrtausenden kühlte sich das Klima langsam, aber stetig ab. Weltweit begannen die Glet-

scher wieder zu wachsen, weshalb diese Phase auch als »Neuvereisung« bezeichnet wird. Dem Langzeittrend überlagert sind charakteristische Warm-Kalt-Zyklen im Jahrtausend-Takt. Während der Römischen Warmzeit (Roman Warm Period = RWP, 250 v. Chr.–400 n. Chr.) erreichten die Temperaturen in vielen Regionen der Erde das heutige Wärmeniveau oder überschritten es sogar. Auch die Mittelalterliche Wärmeperiode (MWP, 800–1300 n. Chr.) und die Kleine Eiszeit (1300–1850 n. Chr.) gehören zu diesen Zyklen.

Wärmere und kältere Zeiten wechselten sich seit der Eiszeit im Rhythmus von etwa 1000 Jahren ab. Das notorische Desinteresse des Weltklimarates (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) an diesem Thema, an dem aktuell eine Vielzahl von Klimawissenschaftlern aktiv forscht, macht ratlos. Wäre es nicht von großer Wichtigkeit, diesen langrhythmischen Herzschlag des Klimasystems gründlich zu untersuchen, um ihn in die Klimamodelle zu integrieren oder nach sorgfältiger Prüfung zu verwerfen? Der IPCC-Spezialbericht zum 1,5-Grad-Ziel von 2018 geht mittlerweile von 100 % anthropogenem Anteil an der Erwärmung der letzten 150 Jahre aus. Es ist klar, dass die natürliche Millenniums-Klimazyklik die monokausale IPCC-Sichtweise in Frage stellen würde.

Die Klimaprognosen bis zum Jahr 2100 basieren auf theoretischen Klimasimulationen. Während die Erwärmung der letzten 150 Jahre von den Modellen in der Regel ohne größere Probleme dargestellt werden kann, können die Klimamodelle die aus geologischen Rekonstruktionen gut belegte MWP-Wärme nicht zufriedenstellend reproduzieren. Dies ist nicht verwunderlich, denn in den Simulationen geht der Einfluss natürlicher Klimafaktoren bereits vom Ansatz her gegen null. Auslöser von MWP und Kleiner Eiszeit können aber nur natürliche Faktoren gewesen sein, weil die Menschen vor der Industrialisierung keinen nennenswerten Einfluss auf das globale Klima ausübten. Vielleicht wird sich irgendwann einmal auch die Klimaforschung an die Sonne erinnern. Während der MWP war sie stark, während der Kleinen Eiszeit schwach und während der modernen Erwärmung wieder stark.

Im Rahmen des Pariser Klimaabkommens vom Dezember 2015 wurde vereinbart, dass die Zunahme der globalen mittleren Temperatur auf deutlich unter 2 °C, verglichen mit dem »vorindustriellen Niveau«, begrenzt wer-

den muss und dass man sich bemühen sollte, den Anstieg auf 1,5 °C zu begrenzen. Bei Betrachtung der letzten 2000 Jahre lag die mittlere vorindustrielle Temperatur etwa auf dem Niveau von 1940 bis 1970, also deutlich höher als im Basisjahr 1870 des IPCC. Der Vergleich der derzeitigen Erwärmung mit dem Referenz-Niveau am Ende der Kleinen Eiszeit vor etwa 150 Jahren ist also wenig sinnvoll, weil diese Zeit eine der kältesten Epochen der letzten 10 000 Jahre repräsentiert. Klimapolitisch macht das erst recht wenig Sinn. Wollen wir wirklich zurück in eine Klimawelt, die von bitterer Kälte und Hunger gekennzeichnet war? Ist ein Niveau von 1950, das etwa 0,4 °C wärmer war als 1870 und eher dem Durchschnitt der letzten 2000 Jahre entspricht, nicht viel erstrebenswerter?

Die Datierung der klimatischen Ereignisse aus den Klimaarchiven wie Sedimentablagerungen, Eisbohrkernen oder Tropfsteinen ist oft nur mit plus/minus 100 Jahren Ungenauigkeit möglich. Die Klimavergangenheit wird uns daher eher als ein verschmiertes Bild mit weniger Höhen und Tiefen, geringeren Temperaturanstiegen und -rückgängen gezeigt. Da erscheint die augenblickliche Erwärmung schnell als einzigartige und nie dagewesene Entwicklung.

Die globale Temperatur ist in den letzten 150 Jahren mit einer durchschnittlichen Erwärmungsrate von 0,07 °C pro Jahrzehnt angestiegen. Allerdings konzentrierte sich die Erwärmung vor allem auf drei Temperaturschübe, nämlich 1860–1880, 1910–1940 und 1975–1998. Die Temperatursteigerungsrate der drei Episoden war ähnlich und betrug etwa 0,15 °C pro Jahrzehnt. Zwischen den Erwärmungsphasen kühlte sich das Klima jeweils leicht ab oder stagnierte. Die heutige Erwärmungsrate ist keineswegs einzigartig, wie oft behauptet, weder im Maßstab der letzten 1000 Jahre noch im Kontext der letzten 100 000 Jahre. Beim Übergang der Kälteperiode der Völkerwanderungszeit zur Mittelalterlichen Wärmeperiode stiegen hierzulande die Temperaturen innerhalb von 400 Jahren um 4 °C, wie Untersuchungen aus der Eifel zeigen. Das entspricht 1 °C pro Jahrhundert, also ziemlich genau der heutigen Rate.

## Die Ozeanzyklen

---

Von 2000 bis 2014 wurde die Erwärmung merklich abgebremst. Bis heute gibt es hierfür keine zufriedenstellende Erklärung – außer einer, dem sich alle 60 Jahre ins Negative verkehrenden pazifischen Zyklus PDO (Pacific Decadal Oscillation). Diese Erwärmungspause wurde durch eine natürliche Erscheinung, den gewaltigen El Niño von 2016, beendet, was zu einer kurzfristigen Erwärmung führte, allerdings auch zu einem Absinken der Temperaturen von 2017 bis 2019. Welche Bedeutung haben die Ozeanzyklen? Als der IPCC 1988 gegründet wurde, waren die meisten Ozeanzyklen noch unbekannt und konnten in den ersten beiden Klimazustandsberichten von 1990 und 1995 noch überhaupt nicht berücksichtigt werden.

Die PDO spielt eine überragende Rolle für die Entwicklung der globalen Durchschnittstemperatur, wie ein Vergleich der vergangenen 120 Jahre zeigt. Während positiver PDO-Phasen stieg die globale Temperatur stets besonders stark an, wohingegen die Erwärmung bei negativer PDO jeweils ins Stocken geriet bzw. sich das Klima sogar abkühlte. Die drei Erwärmungsphasen 1860–1880, 1910–1940 und 1975–1998 ereigneten sich während positiver PDO-Bedingungen, die dazwischenliegenden Erwärmungspausen fanden zu Zeiten negativer PDO statt. Die PDO moduliert den Langzeiterwärmungstrend und überlagert ihm einen charakteristischen 60-Jahre-Takt, der einen treppenstufenartigen Verlauf in der Temperaturentwicklung erzeugt. Um das Jahr 1999 wechselte die PDO in die negative Phase, wodurch die globale Erwärmung abgebremst wurde und in eine anderthalb Jahrzehnte andauernde Erwärmungspause mündete. Diese könnte – mit Unterbrechungen – bis etwa zum Jahr 2030 andauern.

Die Atlantische Multidekadische Oszillation (AMO) ist das Pendant zur PDO für den Atlantik. Im Prinzip handelt es sich um die gleiche Schwingung, allerdings hinkt die AMO der PDO um 20 Jahre hinterher. Der AMO-Zyklus übt einen bedeutenden Einfluss auf die Sommertemperaturen in Europa aus, während die Winter weitgehend unabhängig von der AMO sind. Die negative Phase der AMO in den 1960er- bis 1990er-Jahren hatte das Sommerklima in Europa spürbar abgekühlt, während die danach einsetzende und noch immer andauernde positive AMO zu wärmeren und längeren Sommern auf dem Kontinent geführt hat. Forscher der Universität Washington

haben 2013 herausgefunden, dass PDO und AMO gemeinschaftlich 30–50 % des letzten großen Erwärmungsschubs von 1975–1998 verursacht haben. Das bedeutet aber auch, dass die Erwärmung durch CO<sub>2</sub> entsprechend geringer zu veranschlagen ist. Und das hat gravierende Folgen: Der Langzeiterwärmungstrend im 21. Jahrhundert wird demzufolge deutlich geringer ausfallen, als es der Weltklimarat bis heute verbreitet.

### Die CO<sub>2</sub>-Klimasensitivität

In der öffentlichen Klimadebatte geht es in der Regel nicht darum, ob CO<sub>2</sub> erwärmt, sondern *wie stark* es erwärmend wirkt. Es handelt sich also vor allem um eine quantitative Frage. Leider lässt sich die genaue Erwärmungswirkung nicht so einfach durch Experimente oder theoretische Berechnungen ermitteln. Konsens herrscht allein in einem Teilaspekt. Würde CO<sub>2</sub> allein wirken, so würde die globale Temperatur bei jeder Verdoppelung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre lediglich um gut 1 °C ansteigen, was relativ unproblematisch wäre. Die Klimamodelle nehmen aber an, dass durch das zusätzliche CO<sub>2</sub> in einem Verstärkermechanismus mehr Wasserdampf aus den Weltmeeren verdunstet. Da Wasserdampf ein wesentlich stärkeres Klimagas als CO<sub>2</sub> ist, wird der Effekt des CO<sub>2</sub> auf diese Weise verstärkt auf 1,5 bis 4,5 °C pro CO<sub>2</sub>-Verdoppelung. Allerdings bedeutet mehr Wasserdampf in der Luft auch mehr Wolkenbildung, welche der Erwärmung entgegenwirken kann. Diesem kühlenden Effekt der Wolken wird in den Modellen aber nicht Rechnung getragen.

Die Stärke der CO<sub>2</sub>-Erwärmungswirkung wird durch die sogenannte CO<sub>2</sub>-Klimasensitivität, oder, besser verständlich, die Klimawirksamkeit beschrieben: Wie stark erwärmt sich die Atmosphäre bei Verdoppelung des CO<sub>2</sub>-Gehalts und dem gerade beschriebenen Verstärkermechanismus? Der IPCC ist sich noch immer nicht sicher, wie stark das CO<sub>2</sub> nun wirklich erwärmt. Pro CO<sub>2</sub>-Verdoppelung könnte die Erwärmung laut IPCC 1,5 °C betragen, aber auch bis zu 4,5 °C, also das Dreifache. Dies entspricht einer sehr großen Unsicherheitsspanne, die der IPCC seit seinem ersten Klimazustandsbericht 1990 nahezu unverändert anführt. Trotz größter Forschungsanstrengungen in den letzten drei Jahrzehnten konnte diese

Unsicherheit nicht verringert werden. In der Öffentlichkeit ist kaum bekannt, wie rudimentär unser Wissen in diesem Punkt ist, da in den Medien meist nur ein wenig aussagekräftiger theoretischer Mittelwert angegeben wird, der 3,0 °C im 4. IPCC-Bericht von 2007 betrug. Im darauffolgenden Bericht von 2013 konnten sich die IPCC-Experten jedoch nicht einmal mehr einigen, welchen Mittelwert sie ansetzen sollten.

Die Höhe der CO<sub>2</sub>-Klimasensitivität ist jedoch für politische Planungen die alles entscheidende Größe. Ist die Klimasensitivität des CO<sub>2</sub> geringer, so muss der Anteil der natürlichen Ursachen an der Erwärmung der letzten 150 Jahre höher sein – und umgekehrt. Befände sich der wahre Wert am unteren Ende der IPCC-Unsicherheitspanne bei 1,5 °C, so wären die Klimafolgen eher moderat und leichter beherrschbar. Bei einem Wert von 4,5 °C hingegen wären katastrophale Klimafolgen zu befürchten.

Tatsächlich häuften sich in den letzten Jahren ernst zu nehmende Studien, die einen Wert in der unteren Hälfte und sogar im unteren Drittel des IPCC-Möglichkeitsspektrums wahrscheinlicher werden lassen. Studien aus dem Hamburger Max-Planck-Institut für Meteorologie legen nahe, dass der Mittelwert bei 2 °C liegt, das amerikanisch-englische Forscherteam Judith Curry und Nicholas Lewis kommt auf 1,66 °C. Curry und Lewis verglichen den Wärmehalt der Ozeane von 1850–1900 mit den letzten Jahrzehnten. So konnten sie den Erwärmungseffekt durch gestiegenes CO<sub>2</sub> ohne den Einfluss von Ozeanzyklen bestimmen. Eine internationale Forschergruppe unter Beteiligung der Universität Gießen erklärte 2018, dass ein Drittel der modernen Temperaturentwicklung Ostasiens durch natürliche Antriebe verursacht wurde.

Doch die Auffassungen klaffen immer weiter auseinander. So behauptete der Weltklimarat in seinem 2018 erschienenen 1,5-Grad-Sonderbericht (SR15) kurzerhand, dass der menschengemachte Anteil an der Erwärmung bereits final geklärt sei und dass der Temperaturanstieg nahezu vollständig auf den von Menschen verursachten Treibhausgasemissionen beruhen würde. Ein nahezu zeitgleich veröffentlichter Klimabericht der Schweiz räumt den natürlichen Klimafaktoren deutlich mehr Raum ein. Dort heißt es, dass natürliche Faktoren bis zur Hälfte der im Land beobachteten Erwärmung der letzten 100 Jahre verursacht haben könnten.

Die Klimawirkung des CO<sub>2</sub> hängt stark davon ab, wie lange es in der Luft



verbleibt. Der Austausch zwischen Atmosphäre, Land und Meer von  $\text{CO}_2$  in der Größenordnung von 5–7 Jahren darf nicht verwechselt werden mit der Halbwertszeit des  $\text{CO}_2$ , die bei etwa 35–40 Jahren liegt. In die Luft ausgestoßenes  $\text{CO}_2$  wird teilweise von den Ozeanen, aber auch von Pflanzen durch verstärkte Photosynthese aufgenommen, Ozeane und Pflanzen reagieren also als sogenannte »Senken«, in denen zurzeit etwa 55 % der heutigen Emissionen verbleiben.

Die Aufnahme von  $\text{CO}_2$  in die Ozeane und durch Pflanzen ist abhängig von der Konzentration in der Luft. Vor der Industrialisierung gab es ein Gleichgewicht zwischen der Konzentration in der Luft von 280 ppm  $\text{CO}_2$  und dem  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Ozeane und der Gesamtheit der Pflanzen. Heute sind mit 410 ppm etwa 130 ppm mehr in der Luft als vor der Industrialisierung. Dieses Mehrangebot an 130 ppm in der Luft bestimmt die Aufnahme in Ozeane und Pflanzen. Die Entnahme von  $\text{CO}_2$  aus der Luft ist also nicht abhängig von aktuellen Emissionen (heute etwa umgerechnet 4,7 ppm pro Jahr), sondern von dem, was sich aufsummiert hat. Das ist nicht unbedeutend, heißt dies doch, dass bei einer Verringerung der Emission die Größe der Aufnahme durch Ozeane und Pflanzen (2,6 ppm pro Jahr) nicht parallel zurückgeht. Bei einer Halbierung der Emission auf 2,35 ppm pro Jahr wird mehr  $\text{CO}_2$  abgeschieden, als neu hinzukommt, was bereits zu einer Verringerung der  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen in der Luft führen würde. Eine Rückführung auf null, wie es viele Politiker fordern, ist nicht erforderlich, um ein Absinken der  $\text{CO}_2$ -Gehalte zu erzielen.

Es wird immer wieder behauptet, dass die Senken für  $\text{CO}_2$ , die Ozeane und die Pflanzen, wegen Sättigung zukünftig weniger  $\text{CO}_2$  aufnehmen könnten. Dafür gibt es momentan keine Anzeichen. Interessanterweise ist die Abbauzeit seit 60 Jahren konstant und lässt sich relativ einfach berechnen. Teilt man die anthropogen erzeugte  $\text{CO}_2$ -Konzentration in einem bestimmten Jahr durch den Abbau in dem jeweiligen Jahr, so kann man die Halbwertszeit errechnen. Sie betrug 1959 etwa 38 Jahre und 2019 etwa 35 Jahre. Die Aufnahmefähigkeit ist also sogar leicht gestiegen. Es ist demnach nicht zu erwarten, dass die Aufnahmefähigkeit von Ozeanen und Pflanzen auf absehbare Zeit zurückgeht. Die Klimamodelle des IPCC gehen dagegen von einer starken Abnahme der Aufnahmefähigkeit aus, wawas die  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen in der Zukunft zusätzlich anschwellen ließe.